

화분매개곤충과 인공수분이 '신고' 배의 과실품질과 수익성에 미치는 영향*

이경용** · 임순희*** · 서호진*** · 김선영** · 윤형주****

The Influence of Insect Pollination and Artificial Pollination on Fruit Quality and Economic Profit in the 'Niitaka' Pear (*Pyrus pyrifolia* Nakai)

Lee, Kyeong-Yong · Yim, Sun-Hee · Seo, Ho-Jin ·
Kim, Sun-Young · Yoon, Hyung-Joo

We compared the fruit set and the quality of the 'Niitaka' pear (*Pyrus pyrifolia* Nakai) among flowers pollinated by two bee species (*Apis mellifera* and *Bombus terrestris*) and pollinated artificial. The artificial pollination rate was 1.3 to 1.9 times higher than the bee pollination rate. Moreover, the artificially pollinated flowers produced fruit that was 5 to 10% higher in weight, 2 to 3% larger in size, and had a higher fruit shape index (L/D) than fruit pollinated by the bees. On economic analysis, net profit from insect pollinator was 93.5 to 97.1% of net profit from artificial pollination. Therefore, artificial pollination is more efficient than bee pollination in 'Niitaka' pear. However, regarding fruit quality and net profit, these results suggest that bee pollination can be a good alternative to artificial pollination in 'Niitaka' pear.

Key words : *artificial pollination, insect pollinator, pear, pollination, 'Niitaka' cultivar*

* 본 연구는 농촌진흥청 국립농업과학원 친환경 안전 농축산물 생산기술 연구개발사업(과제번호 : PJ01082902)의 지원에 의해 이루어진 것임.

** 국립농업과학원 곤충산업과

*** 국립원예특작과학원 배연구소

**** Corresponding author, 국립농업과학원 곤충산업과(yoonhj1023@korea.kr)

I. 서 론

배나무는 장미과(Rosaceae), 배나무아과(Pomoideae), 배나무속(*Pyrus*)에 속하는 식물로, 지역적으로 동양배(*P. pyrifolia*), 중국배(*P. ussuriensis*) 그리고 서양배(*P. communis*)로 구분된다(Kim and Kang, 2002; Kim et al., 2009). 우리나라 배(*P. pyrifolia* var. *culta Nakai*) 재배면적은 2015년 기준 12,664 ha로서, 국내에서 재배되는 과수 면적 중 사과, 포도, 감귤 등과 더불어 5번째로 많이 재배되고 있는 과실이다(Statistics Korea, 2016). 또한, 한국인이 선호하는 독특한 향미를 가지고 있어 대부분 생과로 이용되고 있으며(Choi et al., 2004), 포도당, 과당 등의 당질과 비타민 B와 C, 식이섬유가 풍부한 알칼리성 식품이다(Cho, 2000). 국내의 배 품종 중 ‘신고’(cv. Niitaka)는 국내 배 재배면적의 81.5%를 차지하는 주요 품종으로서 품질이 우수하고 수출 유망품종으로 각광받고 있다(Nam et al., 2014). ‘신고’ 품종은 단가지 착생 및 유지성이 좋은 수체특성으로 인해 비교적 재배관리가 쉽고, 저장성이 좋은 장점을 가지고 있어 농가 재배가 활발하게 이루어지고 있다(RDA, 2013). 그러나 검은별무늬병, 잎검은점병 등에 대해 매우 취약한 문제가 발생하고 있다(Cho et al., 1985).

자가 불화합성인 배 품종 중 ‘신고’는 꽃가루가 없으므로 결실을 위해서 반드시 수분곤충을 이용하거나, 인공수분을 해야만 한다(Cho et al., 2007; Lee, 2014). 꿀벌과 같은 화분매개곤충을 이용할 경우, 수정에 필요한 노동력 절감, 정형과 생산에 유리한 점 등이 있으나, ‘신고’ 품종과 같은 배를 수분하기 위해서는 반드시 수분수가 필요하다(Free, 1993). 하지만, 국내 배 재배환경은 ‘신고’ 같은 경제성이 높은 단일 품종 재식농가의 증가로 수분수가 매우 부족하므로, 화분매개곤충을 이용한 수분은 어려운 실정이다(Kim et al., 2003). 인공수분의 경우, 화분매개곤충을 이용할 때와 달리 수분수 없이 수분용 꽃가루를 통한 안정적인 착과가 가능하지만, 수분용 꽃가루의 품종과 발아율 불균일성, 개화기의 저온, 강우 등의 일기불순으로 인한 인공수분의 효과 저하, 인건비 상승으로 인한 농가 경영비 상승문제 등의 문제가 발생하고 있다(Lee, 2014; RDA, 2016a). 유럽에서는 꽃가루가 많은 서양배의 특성상 인공수분보다 꿀벌, 뒤영벌 같은 화분매개곤충에 의한 수분이 보편화되어 있고(Mayer, 1994; Mayer et al., 1994; Van den Eijnde, 1995), 배의 육종이나 배의 특정 품종에 대하여 안정적인 착과를 위해 꿀벌이나 뒤영벌 등을 수분곤충으로서 사용하고 있다(Farkas and Orosz-Kovács, 2002; Webster, 2002). 최근에는 ‘신고’와 같은 자가불화합성 배 품종에서 착과율 증진, 과실의 고품질화를 위해 꿀벌의 적정 방사밀도와 방사시기 등에 대한 연구가 진행되었다(Jacquemart et al., 2006; Stern et al., 2004). 우리나라와 같이 동양배를 재배하는 일본의 경우, 인공수분을 하거나 꿀벌을 방사하여 배를 수정시키고 있다(Itai, 2007). ‘신고’와 같은 조생종의 경우 이른 개화기로 인한 저온 문제로 인공수분이 보편화되어 있으나, 인공수분은 배 재배 연간 작업시간의 40%를 차지하는 등 노동력이 많이 필요하다는 문제점이 있다(Tanaka et al., 2007). 이와 같은, 인공수분의 문제점을 보완하기 위해 액체 증량제를 꽃가루

와 섞어 분무기로 수정시키는 방법이나, 설탕물과 꽃가루를 혼합한 현탁액을 기계로 방사하는 수분방법이 연구되었다(Koike and Okajima, 2009). 화분매개곤충을 통한 수분의 경우, 꿀벌의 폐로몬을 배꽃에 뿌려 수분시키는 기술이 연구되기도 하였다(Akai et al., 1995). 우리나라에서 2015년 기준 배의 인공수분율은 78.9%로 추정된다(RDA unpublished, 2015). 화분매개곤충 이용의 경우 2011년 기준 꿀벌은 23% (5,500여 봉군)의 이용률을 보였지만 최근 시설과채류와 과수의 수분용으로 일부 쓰이는 뒤영벌은 이용되지 않는 것으로 조사되었다(Yoon et al., 2013). 배와 관련된 국내 화분매개곤충연구로는 배 개화기의 기상애 따른 꿀벌의 방화활동 특성(Choi, 1987; Choi and Kim, 1988), 시설 배에서 꿀벌과 뒤영벌의 화분매개효과(Bae et al., 2003; Lim et al., 2002), '신고' 배를 대상으로 꿀벌, 뒤영벌과 인공수분의 수분효과 등이 보고되었다(Lee et al., 2007).

화분매개곤충은 작물의 화분매개 뿐만 아니라 생태계 서비스에서 농업생태계 보존과 작물생산의 경제적 가치와 측면에서도 매우 중요한 역할을 담당하고 있다(Allsopp et al., 2008; Sandhu et al., 2008, 2010). 최근 농촌진흥청에서도 인공수분에 의한 불량 꽃가루 수입, 농가 경영비 상승 등의 문제 해결과 농업생태계 보존 차원에서, 화분매개곤충 등을 통한 과수의 자연수분 확대 적용을 위한 전문가 협의회를 구성한 바 있다(RDA unpublished, 2016). 본 연구는 꽃가루가 없는 '신고' 품종에서 화분매개곤충의 수분효과를 확인하기 위하여, '신고' 품종과 수분수가 40주 이상 재식된 망실과 노지에서 꿀벌, 뒤영벌 및 인공수분의 효과를 비교·분석하였다.

II. 재료 및 방법

1. 실험 수분곤충과 시험구 배치

'신고' 배(*Pyrus pyrifolia* cv. *Niitaka*)에서 화분매개곤충과 인공수분의 수분효과 비교실험은 전라남도 나주의 국립원예특작과학원 배 실험포장에서 2015년 4월 5일부터 4월 20일까지 수행하였다. 실험에 사용할 수분곤충은 서양뒤영벌(*Bombus terrestris*)과 꿀벌(*Apis mellifera*)을 사용하였다. 서양뒤영벌은 국립농업과학원 농업생물부 곤충산업과에서 계대사육한 8세대를 사용하였다. 꿀벌은 양봉농가에서 구입한 이탈리아계 황색종을 사용하였다. 화분매개곤충과 비교할 인공수분용 꽃가루는 '신고' 배 개화 7일 전 '추황' 품종의 꽃봉오리에서 채취하였고(Bae and Kim, 2002), 발아율 검정결과 83.7%였다. 실험대상 배 품종은 11년생 '신고' 품종과 수분수로서 같은 11년생 '만풍배', '슈퍼골드', '감천배' 품종 등을 사용하였다. 실험대상 품종의 개화기는 Table 1에 나타내었다.

실험장소는 망실과 노지로 나누어 진행하였다. 망실에서는 540 m² 면적에 품종별로 8주

씩 총 40주가 정식되어 있는 2개의 포장을 선정하여 각각 실험포장 전체를 망(mash: 2 mm×2 mm)으로 밀폐하였다. 각 망실에는 서양뒤영벌 시험구(서양뒤영벌 일벌 100마리, 1봉군)와 꿀벌 시험구(소비 2매, 일벌 약 2,000마리, 1봉군)를 각각 배치하였다. 각 실험구에는 인공수분구와 무처리구를 추가로 배치하였다. 인공수분구는 화분매개곤충을 방사하기 전 각 실험구에 ‘신고’ 나무와 수분수를 각각 3주씩 선정하여 채취된 꽃가루와 증량제(석송자)를 1:3비율로 섞어 붓으로 인공수분을 하였다(Cho, 1996). 인공수분이 완료된 나무는 망(mash: 1 mm×1 mm)으로 씌워 화분매개곤충에 의한 추가적인 수정을 방지하였다. 무처리구는 1개의 ‘신고’ 나무에 인공수분구와 같은 망 처리만 하였다.

노지에서는 3,000 m² 면적의 ‘신고’ 80주가 정식된 2개의 포장을 선정하였고 각각 서양뒤영벌 실험구(서양뒤영벌 일벌 200마리, 5봉군)와 꿀벌 시험구(소비 5매, 일벌 약 10,000마리, 1봉군)를 배치하였다. 노지실험 특성상 각 화분매개곤충의 간섭을 줄이기 위하여, 각 포장은 1 km 이상 거리를 두었다. 각 실험구에는 망실의 실험과 동일한 방법으로 인공수분구와 무처리구를 추가로 배치하였다

2. 꿀벌, 서양뒤영벌 및 인공수분의 착과율 비교

‘신고’ 배에서 꿀벌, 서양뒤영벌 및 인공수분의 수정효과를 비교하기 위하여, 착과율을 조사하였다. 착과율은 낙화 이후, 수정 여부가 판단되는 2015년 5월 10일에 조사하였다. 각 수분방법별로 착과율을 비교하기 위하여, 서양뒤영벌과 꿀벌은 각각 배나무 6주, 인공수정은 3주, 무처리는 1주를 선정하고, 각 주 당 20개의 가지를 무작위로 선정하였다. 선정된 각 가지 내 전체 화충 수 대비, 착과된 화충의 비율로 착과율을 계산하였다.

3. 꿀벌, 서양뒤영벌 및 인공수분의 수확물 특성 비교

2015년 10월 1일에 나주 소재의 배연구소 재배 연구실에서 수확된 과실 중 시험구 당 임의로 30개 과실을 선발하여 수확물 특성을 조사하였다. 수확물 특성은 Lee 등(2015)의 과실 품질조사 방법에 준하여 과중, 경도, 종경, 횡경, 종자수, 당도, 산도 및 산함량을 조사하였다. 과중은 전자저울(AND, CB-3000, Korea)로 측정하였고, 종경, 횡경은 Vernier calipers로 측정하였다. 경도는 물성측정기(TMS-Pro, Food technology corp, USA)로 8 mm 측정봉을 이용하여 과실 적도면에 수직 최대압력을 측정하였다(5 mm sample move, 100 mm·min⁻¹). 당도는 과실 적도면의 동일부분의 과육을 채취하여 cheese cloth로 착즙한 후, 디지털 당도계(PR-32 α, ATAGO, Japan)로 측정하였다. 산도 및 산함량은 시험구 당 6개 과로부터 착즙한 과즙 5 ml를 증류수 35 ml에 희석하고, 0.1 N NaOH를 이용하여 pH 8.3까지 중화 적정한 후 사과산으로 계산하였다.

4. 배 개화기 기상분석

배 개화기간 중 기상분석은 '농촌진흥청 농업기상정보서비스'(http://weather.rda.go.kr/index.jsp)의 '농업기상분석서비스'를 통하여 수행하였으며, 전라북도 나주시의 2014년과 2015년 4월의 기온과 강수량을 분석하였다. 기온의 경우 '신고' 배의 개화기간인 4월 7일부터 10일까지의 평균기온을 대상으로 하였고, 강수량의 경우 배의 전체 개화기간을 중심으로 4월 1일부터 4월 30일까지 누적강수량을 계산하여 비교하였다.

5. 경제성 분석

경제성 분석은 부분예산법을 사용하였다(RDA, 2016b). 실험구당 수확된 과실의 무게와 주 당 평균생산 과실수를 곱하여 주 당 배 수확량을 구하였다. 이 값에 1 ha당 배나무 재배 면적(나무당 표준 재배면적: 36 m²)을 곱하여 1 ha당 수확량을 산출하였다. 조수입은 1 ha당 수확량에 가락동농수산물시장의 2015년 10월 1일자 15 kg당 상품의 '신고' 배 가격을 적용시켰다. 경영비는 서양뒤영벌과 꿀벌의 경우 10 a당 필요한 봉군 봉군가격으로, 인공수분의 경우 10 ha의 수분에 필요한 인건비(RDA, 2016b), 인공수분용 도구, 화분증량제(석송자) 및 배 꽃가루 양을 더하여 산출하였다. 10 ha당 조수입-경영비로 순이익을 계산하고, 인공수분의 순수익을 100으로 하여 꿀벌과 서양뒤영벌의 순수익지수를 추정하였다.

6. 통계분석

꿀벌, 서양뒤영벌 및 인공수분에 따른 착과율의 차이와 수확물 특성 등은 일원배치 분산 분석(One-way ANOVA test)으로 분석하고 Tukey HSD로 사후검정을 하였다. 2014년과 2015년의 평균기온 비교는 T-test를 통하여 유의성 검정을 하였다. 수행된 모든 통계분석은 SPSS PASW 18.0 for windows 통계 패키지 프로그램(IBM, USA)을 사용하였다.

Ⅲ. 결과 및 고찰

1. '신고' 배에서 화분매개곤충과 인공수분의 착과율 비교

'신고' 배에서 꿀벌, 서양뒤영벌 및 인공수분 간 착과율 비교를 Table 3에 나타내었다. 망실에서 수분방법별 착과율을 조사한 결과 인공수분이 77.1%로 가장 높고, 서양뒤영벌 58.0%, 그 다음이 꿀벌 39.5% 순으로서 인공수분이 서양뒤영벌 보다 1.3배, 꿀벌보다 1.9배 더

높은 착과율을 보여주었다. 화분매개곤충별로는 서양뒤영벌이 꿀벌보다 1.5배 높은 착과율을 보였으며 통계적으로 유의미한 차이를 보였다(Oneway ANOVA test: $F_{(2,21)}=44.679$, $p=0.0001$). 노지의 경우, 인공수분이 38.4%로 꿀벌과 서양뒤영벌보다 각각 1.2배, 1.3배 높은 착과율을 보였다($F_{(2,21)}=3.757$, $p=0.040$). 꿀벌과 서양뒤영벌은 각각 29.8%와 26.5%로 오차범위 내에 같은 수준을 보여주었다. 두 실험구 모두 무처리구의 경우 전혀 착과되지 않았다. 전반적으로 인공수분이 꿀벌과 서양뒤영벌보다 착과율이 높았다. 특히 망실의 경우 그 차이가 더 높았다. 이는 개화기의 저온 등으로 인하여, 망실 내의 ‘신고’ 품종의 수분수로 사용된 ‘화산’과 ‘만풍배’ 품종의 개화가 ‘신고’에 비해 6일 정도 늦어져 적정시기에 수분이 되지 않았기 때문으로 생각된다(Table 1). ‘신고’ 품종의 경우 꽃가루가 없어 반드시 수분수가 필요하다고 보고되었다(Bae et al., 2003; Lee et al., 2007). 또한, Kim 등(2003)은 대부분의 사과나 배 품종은 자가불결실성(self unfruitfulness)이므로 배는 같은 품종의 꽃가루로는 거의 수정이 이루어지지 않으며, 정상적인 결실을 위해서는 반드시 화분매개곤충에 의해 친화성이 높은 다른 품종의 수분수를 심어 타화수정을 해야만 한다고 보고하였다. 화분매개곤충별로는 서양뒤영벌이 꿀벌과 같거나 더 높은 수준의 착과율을 나타내었다. 2015년 조사지역의 배 품종별 만개기간인 4월 7일부터 17일까지 평균기온은 9.2°C로서, 2014년 같은 기간 12.2°C 보다 3°C 유의미하게 낮았고(T-test: $t_{(20)}=3.622$, $p=0.002$), 배 개화기인 4월의 강수량은 15년 120 mm, 14년 19.5 mm로 15년이 100 mm 이상 높았다(Table 2). 일반적으로 뒤영벌이 꿀벌보다 저온이나 우천 중에서 활동성이 높기 때문에(Free, 1993) 서양뒤영벌의 활동이 꿀벌보다 상대적으로 활동이 더 많아 높은 착과율을 나타냈을 것으로 생각된다. 레드클로버나 사과에서도 개화시기에 저온이나 우천이 발생할 경우 뒤영벌이 꿀벌보다 높은 활동을 보였음이 보고된 바 있다(Corbet et al., 1993; Yoon et al., 2013).

조사장소별로는 망실이 노지의 결과보다 1.3-2.2배 정도 높은 착과율을 보여주었다. 착과율은 수분의 유무도 중요하지만, 화분관이 신장하기 위한 적정온도나 습도 등의 외부환경에도 좌우된다(Lee et al., 2001). 망실의 경우 노지에 비해 비교적 비나, 강풍 등의 기상환경의 변화가 적으므로, 노지보다 높은 착과율을 보였을 것이라고 생각된다. 따라서 이번 착과율 결과는, 저온 강우 등의 기상환경의 영향이 크게 미쳤을 것으로 판단되므로, 다년간 연구를 통해 화분매개곤충과 인공수분의 착과율 비교가 추가적으로 조사되어야 할 것으로 생각된다. Lee 등(2007)은 망실에서 꿀벌, 서양뒤영벌, 인공수정을 통한 ‘신고’ 배의 착과율을 조사한 결과 각각 44.6%, 46.2%, 50.6%로 보고하여 이번 조사와 유사한 결과를 보여주었다. 시설 배에서의 서양뒤영벌을 통한 착과율은 34%로서, 이번 조사에서 노지 배 착과율과 같은 수준을 보여주었다. 다만 시설배에서 꽃가루가 풍부한 수분수 품종인 ‘장십랑’과 ‘행수’의 착과율이 각각 72%, 64%로 ‘신고’에 비해 2배 이상 높은 결과를 보여주었다(Bae et al., 2003). 화밀의 총량, 당 함량과 아미노산의 함량비율에 따라 화분매개곤충의 방문 유형이 결정된다(Nicolon et al., 2007). ‘신고’ 품종은 화분이 없기 때문에, 꽃가루가 나오는 수

분수로 쓰여진 품종에 비해 착과율이 떨어질 것으로 생각된다. 다만, 본 연구에서는 꽃가루가 나오지 않는 '신고' 외에 수분수로 쓰인 '원황', '화산', '감천배' 품종에 대한 착과율은 비교하지 않았으므로 차후, '신고' 품종과 같은 꽃가루가 없는 '신고' 품종과 꽃가루가 나오는 품종에 대한 꿀벌과 서양뒤영벌의 화분매개효과 연구가 필요하다고 생각된다. 추가적으로, 품종별 화분매개의 효과가 차이가 있다면 품종별 화분매개곤충의 선호성, 화밀, 꽃가루에 대한 아미노산과 당의 비교분석 등의 연구도 필요할 것으로 판단된다.

Table 1. Full bloom date of pear cultivar in 2015

	Niitaka	Pollinizer		
		Hwasan	Manpungbae	Gamcheonbae
Full bloom stage	4.10	4.16	4.16	4.14

¹⁾ Pear cultivation area: 121 Byeongnyu-gil Geumcheon-myeon Naju-si Jeollanam-do Korea

Table 2. The comparison of weather information at April 2015 and April 2014

	Average temperature (°C)	Accumulated precipitation (mm)
April 2015	9.2±1.6	120.0
April 2014	12.2±2.2	19.5

¹⁾ Analysis area: Naju-si Jeollanam-do Korea

²⁾ Analysis duration for temperature: 4.7-17; Analysis duration for precipitation: 4.1-30

³⁾ The average temperature differed significantly between April 2014 and April 2015 (p<0.001, T-test).

Table 3. The fruit set for pollination by *A. mellifera*, *B. terrestris* and artificiality in pear orchard

Pollination method	Net screen house		Open field	
	n	Fruit set (%)	n	Fruit set (%)
<i>A. mellifera</i>	26	39.5±3.4 ^c	6	29.8±3.6 ^{ab}
<i>B. terrestris</i>	26	58.0±3.4 ^b	6	26.5±3.1 ^b
Artificial pollination	12	77.1±2.2 ^a	12	38.4±3.0 ^a

¹⁾ Size of net screen house and open field were each 540 m² and 3,000 m²

²⁾ The fruit set of pear differed significantly among different pollination method in net screen house and open field (p<0.0001 and p<0.05 respectively, One-way ANOVA test and Tukey HSD).

2. ‘신고’ 배에서 꿀벌, 서양뒤영벌 및 인공수분의 수확물 특성 비교

수분방법 별 ‘신고’ 배의 수확물 특성에 대한 조사를 Table 4와 5에 나타내었다. 배의 무게는 인공수분이 786.5 g±74.4 g으로 서양뒤영벌과 꿀벌 보다 각각 6.7%, 10.3% 더 무거웠으며 통계적 유의성이 인정되었다(Oneway ANOVA test: $F_{(2,87)}=6.826$, $p=0.002$). 배의 종경과 횡경에서도 인공수분이 서양뒤영벌, 꿀벌보다 각각 2.0-4.0%, 4.1-7.1% 더 큰 과실 크기를 보였다(종경: $F_{(2,87)}=12.013$, $p=0.0001$; 횡경: $F_{(2,87)}=6.372$, $p=0.003$). 과실 내 종자 수에서는 통계적인 차이를 보이지 않았으나, 과형지수(L/D)는 인공수분 88.2%, 서양뒤영벌 86.6%, 꿀벌 85.6%로서 통계적으로 같은 수준을 나타내었다($F_{(2,87)}=2.641$, $p=0.077$). 전반적으로 인공수분이 화분매개곤충을 통한 수분보다 과실의 크기가 크고 무거웠다. 과실의 품질요인을 비교한 결과, 과실의 경도와 산함량은 수분방법에 따라 유의한 차이는 보이지 않았지만, 당도는 화분매개곤충을 사용한 수분법이 인공수분보다 0.5-1°Brix 높은 결과를 보여주었다($F_{(2,87)}=6.372$, $p=0.003$). Lee 등(2007)은 천안지방에서 망실 내 수분방법별 ‘신고’ 배의 수확물을 조사한 결과, 과중 및 횡경, 종경 모두 통계적 유의성은 없으나 서양뒤영벌이 인공수분보다 4-5% 높은 경향을 보였다. 종자수 또한 인공수분 9.0개 보다 꿀벌이 9.5개로 더 높은 경향을 보여 본 연구와 차이를 보인 한편, Kim 등(2002)이 꿀벌과 인공수분을 통한 배의 수확물 특성을 비교한 결과, 인공수분이 꿀벌보다 과중과 과경에서 더 높은 결과를 나타내어 이번 조사와 유사하였다. 배의 크기나 무게는 적과량이나, 전정을 통한 수형 외에도 나무 수령, 비배관리 등에서 차이를 보일 수 있고, 종자수 역시 수분 직후 온도에 따른 화분관 발아의 차이 등 기상조건에 영향을 받을 수 있으므로 이전 연구와 직접적인 비교는 어렵다고 판단된다(Hayashi, 1960; Lee et al., 2001; Lee et al., 2015).

Table 4. Fruit weight, size and shape parameter of different pollination method in ‘Niiitaka’ pear

Pollination method	n	Weight (g)	Length (mm)	Diameter (mm)	Fruit shape	
					L/D (%)	No. of Seed
<i>A. mellifera</i>	30	713.0±64.1 ^b	96.2±4.3 ^b	112.3±3.7 ^b	85.6±2.9 ^b	6.2±2.4
<i>B. terrestris</i>	30	737.0±94.1 ^b	99.0±6.5 ^b	114.5±5.9 ^{ab}	86.6±5.6 ^{ab}	5.9±2.8
Artificial pollination	30	786.5±74.4 ^a	103.0±5.3 ^a	116.9±4.9 ^a	88.2±4.4 ^a	6.9±2.1

¹⁾ L/D: Fruit length value/fruit diameter value

²⁾ The Weight, length, diameter and L/D value differed significantly among different pollination method in ‘Niiitaka’ pear ($p<0.001$, One-way ANOVA test and Tukey HSD).

Table 5. Fruit quality parameters of different pollination method in ‘Niitaka’ pear

Pollination method	n	Firmness (N)	Soluble solids (°Brix)	Titrateable acidity (%)
<i>A. mellifera</i>	30	2.5±0.4	12.7±0.4 ^a	0.13±0.02
<i>B. terrestris</i>	30	2.6±0.4	13.1±0.8 ^a	0.14±0.11
Artificial pollination	30	2.6±0.2	12.2±0.6 ^b	0.14±0.11

¹⁾ The soluble solids differed significantly among different pollination method in ‘Niitaka’ pear (p<0.0001, One-way ANOVA test and Tukey HSD).

3. ‘신고’ 배에서 꿀벌, 서양뒤영벌 및 인공수분의 경제성 분석

노지 착과율 데이터와 수확물 품질 데이터를 바탕으로 수분방법별 경제성 분석결과를 Table 6에 나타내었다. 1 ha당 생산량은 인공수분이 27,590 kg, 서양뒤영벌 25,870 kg, 꿀벌 25,030 kg로 계산되었다. 경영비를 포함하여 계산된 1 ha당 순수익은 인공수분 72,249천원, 서양뒤영벌 70,070천원, 꿀벌 67,220천원으로 추정되었다. 이 결과를 통하여 소득 비율을 추산한 결과, 인공수분의 순수익지수를 100으로 하였을 때, 서양뒤영벌은 97.0% 수준이고 꿀벌은 93.1%로서 인공수분이 서양뒤영벌이나 꿀벌보다 각각 3.0%, 6.9% 높은 결과를 나타내었다. Lee 등(2013)은 ‘신고’ 배에서 꿀벌, 서양뒤영벌 및 인공수분의 경제성을 분석한 결과 10 a 기준 상품과중과 생산물량에서 인공수분이 꿀벌과 서양뒤영벌을 방사한 구보다 동일하거나 약간 높은 결과를 나타내어 이번 결과와 유사하였다.

Table 6. Analysis of economic profit of ‘Niitaka’ pear produced by *A. mellifera*, *B. terrestris* and artificial pollination

Pollination method	Weight/fruit (g)	¹⁾ Total fruits weight/tree (kg)	²⁾ Amount of product/1 ha (kg)	³⁾ Gross income/1 ha (won)	⁴⁾ Production cost (won)	Economic Profit	
						⁵⁾ Net income/1 ha (won)	Index (%)
<i>A. mellifera</i>	713	42.8	25,030	68,429,000	1,200,000	67,220,000	93.1
<i>B. terrestris</i>	737	44.2	25,870	70,725,000	650,000	70,070,000	97.0
Artificial pollination	786	47.2	27,590	75,399,000	3,500,000	72,249,000	100.0

¹⁾ Fruit weight×130 fruits/tree

²⁾ Total fruits weight/tree×27 trees/1,000 m² (Cultivated area of a pear tree: 36 m²)

³⁾ Amount of product/10 a×Market price of ‘Niitaka’ pear on Garak-dong agricultural & marine products market in Korea (41,000/15 Kg)

⁴⁾ Pear pollens (Germination rate: 70%, 800,000 won/200 g)+Developed pollen extender (“Soeksongja”, 120,000 won/600 g)+Tools of artificial pollination (150,000 won)+labor costs (20 mans×1 day×104,000 won)

⁵⁾ Gross income - production cost

그러나 이번 결과는 배 개화기의 저온 또는 우천현상으로 인하여 화분매개곤충의 착과율의 차이나, 과실품질에 변화가 생길 수 있으므로 차후 몇 년간의 데이터 축적 후 경제성 분석을 실시하는 것이 바람직할 것으로 생각된다.

이번에 조사된 결과를 종합하면, 전반적으로 ‘신고’ 품종에서 착과율이나 과실 크기 및 무게를 고려할 때, 인공수분이 화분매개곤충보다 더 효율적으로 판단된다. 그러나 화분매개곤충을 이용하였을 때와 인공수분을 하였을 때 과실품질에서는 통계적으로 차이가 나지 않거나, 일부 인공수분이 높은 결과를 보여주었지만 그 차이는 10% 미만이었다. 경제성 분석에서도 인공수분 대비 화분매개곤충의 이용시 순수익지수에서 93-97% 수준이었다. 배의 인공수분이 활성화된 주된 요인으로는 환경오염이나 농약살포 등으로 인한 방화곤충의 개체 수 감소로 자연수분을 통한 착과 불량에 있다(Kim et al., 2003). 이에 인공수분은 안정적인 계획적인 착과가 가능한 장점이 있으나, 지속적인 인건비의 상승으로 인한 경영비 부담, 개화기 기상불량으로 인한 인공수분 효과 저하 등의 단점도 있다(Lee, 2014). 이번 결과를 볼 때, ‘신고’ 배에서 인공수정을 대신하여 꿀벌이나 뒤영벌 같은 화분매개곤충을 계획적으로 방사를 하는 것 또한 ‘신고’ 배의 안정적인 생산에 대한 대책으로 선택 할 수 있다고 생각된다. 다만 ‘신고’ 품종에서 화분매개곤충 이용이 인공수분에 비해 다소 착과율이 낮은 결과를 보이는데, 이는 ‘신고’ 품종은 꽃가루가 나오지 않으므로, 화분매개곤충의 선호성이 떨어져 이를 통한 수분 효율성이 낮기 때문으로 생각된다. 최근 ‘신고’ 품종은 꽃가루가 생산되지 않는 것 외에도 검은별무늬병, 잎검은점병 등 병에 대한 저항성이 매우 약한 것으로 알려져 있어(Cho et al., 1985; RDA, 2015), 꽃가루가 생산되고 안정적인 재배가 가능한 저항성 품종이 권장되고 있다(Shin et al., 2004). 따라서 차후, ‘신고’ 품종과 재배가 권장되고 있는 새로운 품종에 대한 화분매개곤충의 방화특성이나 착과율 등 화분매개효과에 대한 비교연구도 필요하다고 생각된다.

IV. 적 요

꽃가루가 없는 ‘신고’ 배에서 화분매개곤충의 수분효과를 확인하기 위하여, 망실과 노지에서 꿀벌, 서양뒤영벌과 인공수분 간의 과충착과율과 수확물 특성을 비교하였다. 수분방법별 착과율을 조사한 결과, 망실에서는 인공수분이 77.1%로 서양뒤영벌보다 1.3배, 꿀벌보다 1.9배 높았다. 노지에서는 인공수분이 38.4%로 서양뒤영벌과 꿀벌보다 1.2배, 1.3배 높았다. 장소별로는 망실이 노지보다 1.3-2.2배 높은 과충착과율을 보여주었다. 화분매개곤충 별로는 서양뒤영벌이 꿀벌보다 같거나 1.5배 높은 과충착과율을 나타내었다. 수확물 특성을 조사한 결과, 인공수분이 과실 크기, 무게가 꿀벌보다 화분매개곤충보다 5-10% 정도 높고, 과형지수도 2-3% 높은 것으로 나타났다. 경제성 분석결과, 인공수분 대비 순수익지수가 서

양뒤영벌은 97.0%, 꿀벌은 93.1%로 나타났다. 따라서, 화분이 나오지 않는 '신고' 배에서 인공수분이 화분매개곤충보다 더 효과적이지만, 과실품질과 경제성을 고려할 때, 인공수분을 대체할 수 있다고 생각된다.

[Submitted, July. 27, 2016 ; Revised, September. 27, 2016 ; Accepted, October. 27, 2016]

References

1. Akai T., Y. Saoyama, and A. Miki. 1995. Evaluation of bee attractants for Japanese pear pollination. *Bull. Tokushima. Hort. Exp. Sta.* 23: 18-26.
2. Allsopp, M. H., W. J. De Lange, and R. Veldtman. 2008. Valuing insect pollination services with cost of replacement. *PLoS One.* 3: e3128.
3. Bae T. W., S. B. Lee, I. H. Cho, H. Y. Yoon, S. E. Kim, and Y. D. Chang. 2003. Foraging activities of *Bombus terrestris* in pear house. *Korean J. Apiculture.* 18: 55-60.
4. Cho, E. K., W. T. Cho, and E. J. Lee. 1985. The causal organism of pear scab in Korea. *Kor. J. Mycol.* 13: 263-265.
5. Cho, K. S., S. S. Kang, D. S. Son, S. B. Jeong, J. H. Song, Y. K. Kim, M. S. Kim, K. H. Hong, H. M. Cho, and G. C. Koh. 2007. 'Jinhwang', a new mid-season pear with high quality and good appearance. *Kor. J. Hortic. Sci. Technol.* 25: 133-1.
6. Choi, S. Y. 1987. Diurnal foraging activity of honey bees in the pear blossoms. *Korean J. Apiculture.* 2: 108-116.
7. Choi, S. Y. and Y. S. Kim. 1988. Diurnal foraging activity of honey bees in the pear blossoms (II). *Korean J. Apiculture.* 3: 90-97.
8. Corbet, S. A. 1993. Wild bees for pollination in the agricultural landscape. In: bees for pollination (Bruneau, E., Ed.). Commission of the European Communities, Brussels, Belgium. pp. 175-189.
9. Farkas, A., Z. Orosz-Kovacs, and L. Szabo. 2002. Insect attraction of flowers in pear cultivars. *Acta Hort.* 596: 773-776.
10. Free, J. B., 1993. Insect pollination of crops. 2nd ed. Academic Press, London.
11. Hayashi, S. 1960. The pear. Asakura Shoten, Tokyo, Japan.
12. Itai, A. 2007. Fruits and nuts. Springer, Berlin Heidelberg, Germany. pp. 157-170.
13. Jacquemart, A. L., A. Michotte-Van der Aa, and O. Raspe. 2006. Compatibility and pollina-

- tor efficiency tests on *Pyrus communis* L. cv. 'Conference'. J. Hort. Sci. biotech. 81: 827-830.
14. Kim, J. K., H. C. Lee, I. K. Yoon, and B. W. Moon. 2003. A Newly-developed pollen extender used for artificial pollination in fruit trees. Korean J. Hortic. Sci. Technol. 21: 329-332.
 15. Kim, Y. C., M. Y. Lee and M. L. Lee. 2002. The pollination effect of honeybees (*Apis mellifera* L.) on pear blossom. Korean J. Apiculture. 17: 91-96.
 16. Koike, A. and S. Okajima. 2009. Development of artificial pollination in japanese pear using pollen spraying. Bull. Tokushima Pref. Fruit Tree Res. Ins. 5: 1-6.
 17. Lee, S. B., D. K. Seo, Y. S. Kim, N. I. Gwak, H. J. Yoon, H. C. Park, and S. J. Hwang. 2007. The pear flower-visiting insects, and the characteristics on pollinating activity of honeybee (*Apis mellifera* L.) and bumblebee (*Bombus terrestris* L.) at Pear Orchard. Korean J. Apiculture, 22: 125-132.
 18. Lee, S. H., X. Y. Wu, and W. S. Kim. The effect of pH and temperatures on pollen germination and pollen tube growth of pear (*Pyrus pyrifolia*). Agri. Sci. Technol. 36: 153-158.
 19. Lee, U. Y. 2014. Improvement of fruiting and fruit shape by pollen source, thinning, and plant growth regulators in 'Niitaka' pears. A thesis for the doctor degree of Chungnam National University. pp. 1-8.
 20. Lee, U. Y., Y. K. Kim, I. S. Shin, K. S. Oh, O. K. Jung, J. P. Chun. 2015. Comparison of fruit development and quality indices according to blossom thinning on early-season 'Hanareum' and mid-season 'Niitaka' Pears. Kor. J. Hort. Sci. Technol. 33: 486-491.
 21. Mayer, D. F. 1994. Sequential introduction of honey bee colonies for pear pollination. Acta Hort, 367: 267-269.
 22. Mayer, D. F., K. D. Patten, and R. P. Mcfarlane. 1994. Pear pollination with managed bumblebee (Hymenoptera: Apidae) Colonies. Melandria. 50: 20-23.
 23. Nam, K. W., M. K. Han, D. H. Yoon. 2014. Control effect of sodium dichloroisocyanurate for pear scab (*Venturia nashicola*) on Niitaka pear during flowering Period. Korean J. Organic. Agr. 22: 347-357.
 24. Nicolson, S. W. 2007. Amino acid concentrations in the nectars of southern african bird-pollinated flowers, especially aloe and erythrina. J. Chem. Ecol. 33: 1707-1720.
 25. RDA. 2013. Pear cultivation, RDA press, Korea. p. 29.
 26. RDA. 2016a. Pear cultivation, RDA press, Korea. p. 68.
 27. RDA. 2016b, The economic analysis method for crop science, RDA press, Korea. p. 52.

28. Sandhu, H. S., S. D. Wratten, R. Cullen, and B. Case. 2008. The future of farming: the value of ecosystem services in conventional and organic arable land. *An Experimental Approach. Ecol. Econ.* 64: 835-848.
29. Shin, I. S., I. H. Hyeon, H. S. Hwang, S. S. Hong, K. H. Cho, and H. M. Cho. 2004. Screening of scab (*Venturia nashicola*) resistance germplasms in *Pyrus* species. *Korean J. Hortic. Sci. Technol.* 22: 63-68.
30. Statistics Korea. 2016. Crops production statistics, <http://kosis.kr/>.
31. Stern, R. A., M. Goldway, A. H. Zisovich, S. Shafir, and A. Dag. 2004. Sequential introduction of honeybee colonies increases cross-pollination, fruit-Set and yield of 'Spadona' Pear (*Pyrus communis* L.). *J. Hort. Sci. Biotech.* 79: 652-658.
33. Tanaka, M., S. Hayashida, A. Morita, and K. Nakakurae. 2007. Establishment of technology for labor saving culture system on japanese pear 'Niitaka'. *Bull. Nagasaki Fruit Tree Exp. Stn.* 10: 41-51.
34. Van den Eijnde, J. 1995. Pollination of pear by bumblebees (*Bombus terrestris* L.) and honeybees (*Apis mellifera* L.). In II Workshop on Pollination 423. pp. 73-78.
35. Webster, A. D. 2002. Factors influencing the flowering, fruit Set and fruit growth of european pears. *Acta Hort.* 596: 699-709.
36. Yoon, H. J., K. Y. Lee, M.A. Kim, I. G. Park, and P. D. Kang. 2013. Characteristics on pollinating activity of *Bombus terrestris* and *Osmia cornifrons* under different weather conditions at apple orchard. *Korean J. Apiculture.* 28: 163-171.